

УДК 699.841

## ПРИМЕНЕНИЕ ДЕМПФЕРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ



## THE USE OF DAMPERS TO IMPROVE THE SEISMIC RESISTANCE OF BUILDINGS AND STRUCTURES

**Зыбин Илья Константинович**

Кубанский Государственный Технологический Университет  
Ilya-Zubin001@yandex.ru

**Попов Артем Олегович**

Кубанский Государственный Технологический Университет  
79181162979@mail.ru

**Сорокина Елена Николаевна**

Кубанский Государственный Технологический Университет  
karpanina.elena@yandex.ru

**Аннотация.** Обеспечение сейсмостойкости зданий и сооружений – фактор, который необходимо учитывать, особенно при строительстве в сейсмически-активных районах. В наше время одним из главных подходов к повышению сейсмостойкости является использование различных систем сейсмоизоляции. Не всегда выгодно и рационально повышать сейсмостойкость строительных конструкций или фундаментов под оборудование путём простого повышения прочности. Повышение прочности конструкций ведёт к увеличению их массы и, как следствие, к увеличению инерционных сейсмических нагрузок. В данной статье подробно рассмотрены различные виды демпфирования, как одни из методов повышения сейсмостойкости зданий и сооружений.

**Ключевые слова:** демпфирование, сейсмика, сейсмостойкость, динамические нагрузки, сейсмоизоляция, демпферы.

**Zybin Ilya Konstantinovich**

Kuban State Technological University  
Ilya-Zubin001@yandex.ru

**Popov Artem Olegovich**

Kuban State Technological University  
79181162979@mail.ru

**Sorokina Elena Nikolaevna**

Kuban State Technological University  
lan.75@mail.ru

**Annotation.** Ensuring the seismic resistance of buildings and structures is a factor that must be taken into account, especially when building in seismically active areas. Nowadays, one of the main approaches to improve seismic resistance is the use of various seismic isolation systems. It is not always profitable and rational to increase the seismic resistance of building structures or foundations for equipment by simply increasing the strength. Increasing the strength of structures leads to an increase in their mass and, as a result, to an increase in inertial seismic loads. In this article, various types of damping are considered in detail, as one of the methods for improving the seismic resistance of buildings and structures.

**Keywords:** damping, seismic, seismic resistance, dynamic loads, seismic isolation, dampers.

С о времён первых землетрясений вопрос защиты зданий и сооружений от сейсмического воздействия не терял своей актуальности. На данный момент с развитием научно-технического прогресса, исследования в данном направлении являются особенно актуальными. Во многом это обусловлено произошедшими в последнее время масштабными и разрушительными землетрясениями. Кроме того, сейчас происходит активное освоение сейсмически активных областей Дальнего Востока, Байкала, Краснодарского Края, Северного Кавказа.

Вызванным землетрясением ущербом является как правило структурные повреждения зданий и транспортной инфраструктуры. Значительные повреждения могут также возникать в установках внутри зданий. В зависимости от силы землетрясения и заселенности рассматриваемой зоны возможны различные масштабы выше названных повреждений зданий и транспортной инфраструктуры. Кроме того повреждения технической инфраструктуры могут привести к тому, что после землетрясения во многих случаях возникают перебои с электричеством, питьевой водой, газом и т.д. [6]

Поскольку сейсмические воздействия передаются на здания и сооружения через их подземную часть, прежде всего, фундаменты, изоляция надземной части от подземной является самым естественным способом снижения сейсмических нагрузок

на каркас. Такой способ защиты назван сейсмоизоляцией. Её применение позволяет уменьшить амплитуды колебаний системы и снизить инерционные силы в конструкциях надземной части здания. Более 1500 лет строители отделяли сооружение от его основания, используя в качестве промежуточного слоя в уровне верха фундаментов прокладку из мягких материалов. [5]

На сегодняшний день сейсмоизоляция остается важным и актуальным вопросом, об этом свидетельствует тот факт, что системы сейсмоизоляции включены в нормативную базу РФ (п. 6.17 СП 14.13330.2014). Однако, авторы не дают подробной классификации способов сейсмоизоляции, методов расчета и конструктивных решений, поэтому необходимо углубленное изучение данного вопроса по современным научным работам российских и зарубежных учёных. Увеличением жёсткости и прочности конструкций не всегда целесообразно добиваться требуемой сейсмостойкости сооружения. Необходимо знать и грамотно использовать различные методы сейсмозащиты. В них используются различные приемы снижения инерционных сил в системе: изменение массы и жёсткости отдельных конструкций или частей здания, демпфирование системы, создание инерционных масс, колеблющихся в противофазе с каркасом и т.п. Многие решения запатентованы еще во 2-й половине XX века, но добавляется и много новых эффективных мероприятий. В настоящее время существует более 100 действующих патентов конструктивных решений сейсмоизоляции зданий и сооружений. [5]

Вопросам сейсмоизоляции посвящено большое количество отечественных и зарубежных книг. В России практическими вопросами сейсмоизоляции активно начали заниматься в начале 70-х годов XX века в ЦНИИСКе, под руководством Айзенберга Я.М. Было проведено большое количество экспериментальных и теоретических исследований. В конце 70-х годов 20 века началось первое массовое строительство зданий и сооружений с системами сейсмоизоляции в виде включающихся и выключающихся связей при строительстве трассы БАМ. Город железнодорожников (82 здания) был застроен сейсмоизолированными зданиями на базе крупнопанельной серии 122. Это был первый в мире опыт по применению такой системы сейсмозащиты в жилых домах. Россия занимает одно из лидирующих мест в мире по количеству построенных сооружений с различными системами сейсмоизоляции (более 600 объектов).

Изучение и разработка различных вариантов сейсмоизоляции конструкций неразрывно связано с развитием динамических расчётов (в частности сейсмических), развитием различных способов математического моделирования в расчётах сооружений, совершенствованием теорий взаимодействия сооружение-основание, методики расчётов грунтов и многим другим. Для повышения надежности в процессе проектирования должны быть использованы современные расчетные комплексы, данные по эксплуатации существующих зданий и сооружений. [7]

Все мероприятия по сейсмической защите сооружений можно условно разделить на активные и пассивные. Активные мероприятия направлены на снижение величины сейсмических воздействий, а пассивные – на повышение сейсмостойкости самого здания. [1]

Одним из методов повышения сейсмостойкости здания является демпфирование.

Демпфер – это обобщенное понятие устройств, предназначенных для гашения или предотвращения колебаний, возникающих в механизмах, системах, а также в сооружениях при их работе. Демпферы применяются в электронике, автомобилестроении, авиастроении, строительстве и других сферах. [2]

Значение слова в переводе с немецкого языка – заглушать. Это устройство применяется в строительных конструкциях как амортизатор, который предназначен для гашения, демпфирования, предотвращения пульсаций или колебаний, появляющихся в машинах, механизмах, приборах, разнообразных системах, во всевозможных зданиях и сооружениях.

В настоящий момент активно используется сейсмическая защита, которая тесно связана с применением специальных устройств – энергопоглотителей. Они предназначены для предотвращения колебаний при сейсмической активности за счет развития в материале конструкций неупругих деформаций. Такие системы устанавливаются в узлах конструкций с большой вероятностью возникновения зон упругих деформаций. Большим плюсом таких систем является то, что они компактны их можно использовать в зданиях любой сложности при этом они легки в замене при необходимости.

Главным элементом устройства могут быть стальные балки, которые при деформациях могут поглощать большее количество энергии. Но при этом срок их эксплуатации не велик и составляет один, два землетрясения.

Устройства для поглощения энергии с наиболее существенным сроком эксплуатации были изобретены в Новой Зеландии так называемый – экструзионный поглотитель энергии, представляющий собой «Кулонов демпфер». Существует цилиндр с толстыми стенками подвешенный и установленный на поршни, соединенных стержнем. Посередине цилиндра предусмотрено местное сужение сечения. Расстояние соединения поршней со стенками цилиндра заполнено свинцом. При движении конструкции, к которой присоединен поглотитель, происходит вытягивание свинца через экструзионное отверстие, образованное стенками цилиндра в его суженном сечении и стержнем. Так как вытягивание связано с процессом пластических деформаций, то по мере продвижения поршня в цилиндре происходит распад энергии. Было установлено, что поглотитель выдерживает большой ряд землетрясений. [2]

Инерционный демпфер (Tuned Mass Damper), называемый также инерционный гаситель, который является одним из устройств для вибрационного контроля, представляет собой массивный бетонный блок, установленный на высотном здании или другом сооружении, который колеблется с резонансной частотой данного объекта с помощью специального пружиноподобного механизма под сейсмической нагрузкой. Такой механизм имеет как преимущества (простота механизма, снижение амплитуды колебаний на 60 %, безопасность), так и недостатки (большие габариты и масса конструкции, дороговизна установки).

Примером данной конструкции является инерционный демпфер небоскреба Тайбэй 101 (рис. 1) оборудован двумя маятниковыми подвесками, на 92-ом и 88-ом этажах, весящими 660 тонн каждая. Благодаря этой системе Тайбэй 101 является одним из самых устойчивых зданий, построенных человеком. [3]

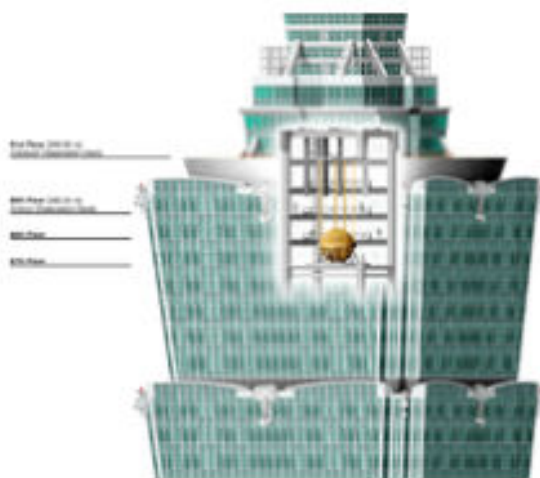


Рисунок 1 – Инерционный демпфер в высотном здании Тайбэй 101

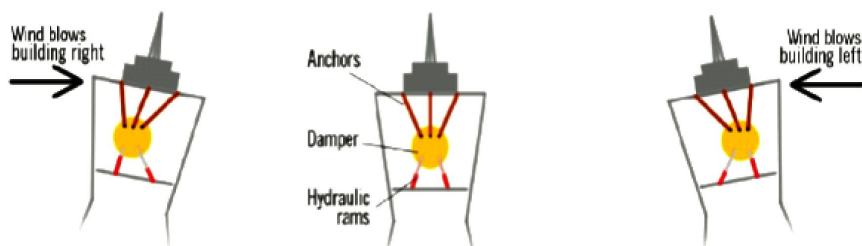


Рисунок 2 – Движение инерционного демпфера при раскачивании

Еще одним видом инерционного демпфера является многочастотный успокоитель колебаний. Это комплекс приборов и конструкций применяемых при строительстве зда-

ний – небоскребов, который имеет определенные резонансные частоты. Это целый комплекс диафрагм между этажами, которые закрепляются выступающими консолями, которые, в свою очередь, имеют свои периоды колебаний. Выступающие консоли помимо функциональной нагрузки придают зданию неповторимый эстетический облик.

Гистерезисный демпфер (Hysteretic damper) предназначен для улучшения работы зданий и сооружений под сейсмической нагрузкой за счёт диссипации сейсмической энергии проникающей в эти здания и сооружения. Имеются, в основном, четыре группы гистерезисных демпферов, а именно:

- жидкостный вязкоупругий демпфер;
- твердый вязкоупругий демпфер;
- металлический вязкотекучий демпфер;
- демпфер сухого трения.

Каждая группа этих демпферов имеет свою специфику, свои достоинства и недостатки, которые следует учитывать при их применении.

Вязкоупругий демпфер состоит из металлического корпуса, заполненного высоковязкой рабочей средой, и поршня, соединенного с верхней соединительной плитой, который может свободно перемещаться во всех пространственных направлениях в рабочей высоковязкой среде. Одна из соединительных плит демпфера (верхняя или нижняя) крепится к вибрирующему агрегату, в то время как другая устанавливается на фиксированной конструкции.

Гашение резонансных колебаний и демпфирование происходит путем преобразования кинетической энергии нежелательных колебаний системы в тепловую энергию за счет движения поршня в высоковязкой рабочей среде. Вязкоупругий демпфер позволяет гасить одновременно все линейные и угловые колебания. Температурные перемещения трубопровода могут быть учтены путем установки демпфера до монтажа в предустановленное (смещенное) положение. При запуске в работу поршень займет оптимальное положение близкое к нейтральному.

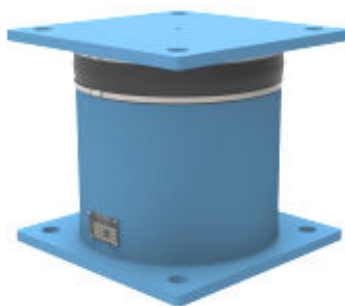
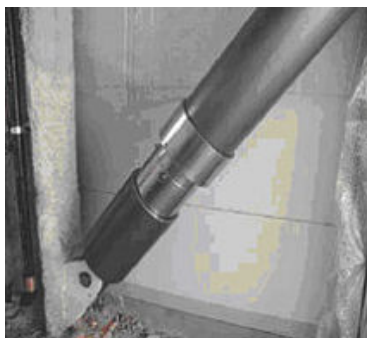


Рисунок 3 – Вязкоупругий демпфер VICODA Anwendungsbereiche

Демпфер сухого трения – вид демпфера, поглощающий динамическую энергию во время появления серьезного землетрясения. В сравнении с другими методами повышения сейсмостойкости зданий и сооружений обладает наиболее простым принципом работы. Демпфер сухого трения содержит корпус, выполненный в виде цилиндра с днищем, в котором расположен поршень, состоящий из параллельных между собой и соосных корпусу верхнего и нижнего дисков, жестко соединенных между собой осесимметричным стержнем. Причем диски установлены относительно внутренней поверхности корпуса с зазором, а между ними расположен фрикционный материал, например металлическая стружка, пластмассовые или металлические шарики, т.е. выбираемый в зависимости от требуемого коэффициента трения.

Демпфирование вертикальной конфигурацией (Building elevation control) предназначено для улучшения работы зданий и сооружений под сейсмической нагрузкой за счёт предотвращения резонансных колебаний с помощью дисперсии сейсмической энергии проникающей в эти здания и сооружения. Пирамидальные постройки не перестают привлекать внимание архитекторов и инженеров также благодаря их большей устойчивости при ураганах и землетрясениях.



**Рисунок 4** – Демпфер сухого трения

Конический профиль здания не является обязательным для этого метода вибрационного контроля. Аналогичный эффект может быть достигнут с помощью соответствующей конфигурации таких характеристик как массы этажей и их жесткости.



**Рисунок 5** – Здание Transamerica Pyramid в Сан-Франциско, Калифорния

Пружинный демпфер (springs-with-damper base isolator) является изолирующим устройством, подобным по замыслу свинцово-резиновой опоре. Два небольших трехэтажных дома с такими устройствами, расположенными в Санта Монике (Калифорния), были проэкзаменованы Нортриджским землетрясением в 1994 году.

Свинцово-резиновая опора (Lead Rubber Bearing) – это сейсмическая изоляция, предназначенная для улучшения работы зданий и сооружений под сейсмической нагрузкой за счёт интенсивного демпфирования сейсмической энергии, проникающей через фундаменты в эти здания и сооружения.

Однако механически податливые системы, какими являются сейсмически изолированные сооружения со сравнительно низкой горизонтальной жесткостью, но со значительной так называемой демпфирующей силой, могут испытывать значительные перегрузки, вызванные при землетрясении как раз этой силой.

Стоит заметить, что так как большая часть территорий России находится в зоне низкой сейсмической активности применение демпфирование у нас не так популярно, как в других странах.



Рисунок 6 – Пружинный демпфер под трехэтажным домом

### Заключение

Использование сейсмоизоляции позволяет возводить здания даже в районах, где могут происходить землетрясения большой интенсивности. Возможно изолировать как отдельные части сооружения (фундаменты под оборудование), так и целые здания (школы, гостиницы, жилые дома). Виды сейсмоизоляторов достаточно разнообразны, и различные виды демпферов, как одни из методов сейсмозащиты сооружений, получили широкое распространение по всему миру. Это перспективная отрасль, однако в России она пока не получила столь масштабного применения.

### Литература

1. Ещенко О.Ю., Демченко В.А. Оценка сейсмостойкости зданий и сооружений : учеб. пособие. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – 91 с.
2. <https://ardexpert.ru/article/9967>
3. Аганова А.Ю., Комарова Н.Д. Инерционный демпфер сердце тейбей 101 // Инновационная наука. – 2015. – № 4–3.
4. Поляков В.С., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. – М. : Стройиздат, 1989. – 320 с.
5. Серикбайкызы Назым. Методы сейсмозащиты с применением специальных устройств // Молодой ученый. – 2021. – № 4 (346). – С. 56–60.
6. Сорокина Е.Н., Самаркина Е.А., Тарасенко П.Д. Сейсмостойкость низковольтных комплексных устройств (НКУ) // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 4. – С. 179–182.
7. Сорокина Е.Н., Жуковский Н.А., Щербак Д.В. Повышение надежности металлических конструкций зданий и сооружений // Актуальные вопросы теории и практики научных исследований : сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции : в 2 ч., Омск, 24 января 2022 года. Часть 1. – Sterlitamak : Общество с ограниченной ответственностью «Агентство международных исследований», 2022. – С. 93–98.

### References

1. Eschenko O.Y., Demchenko V.A. Assessment of earthquake resistance of buildings and structures : textbook. – Krasnodar : KubGAU, 2019. – 91 p.
2. <https://ardexpert.ru/article/9967>
3. Aganova A.Y., Komarova N.D. Inertial damper heart teibei 101 // Innovatsionnaya nauka. – 2015. – № 4–3.
4. Polyakov V.S., Kilimnik L.Sh., Cherkashin A.V. Modern methods of seismic protection of buildings. – M. : Stroyizdat, 1989. – 320 p.
5. Serikbaykyzy Nazym. Methods of Seismic Protection with Special Devices // Young Scientist. – 2021. – № 4 (346). – P. 56–60.
6. Sorokina E.N., Samarkina E.A., Tarasenko P.D. Seismic resistance of low-voltage complex devices (NKU) // Nauka. Technics. Technology (Polytechnic Bulletin). – 2021. – № 4. – P. 179–182.
7. Sorokina E.N., Zhukovsky N.A., Scherbak D.V. Increasing the reliability of metal structures of buildings and structures // Actual issues of the theory and practice of scientific research : a collection of articles based on the International Scientific-Practical Conference: in 2 parts, Omsk, January 24, 2022. Part 1. – Sterlitamak : Limited Liability Company «International Research Agency», 2022. – P. 93–98.